

### Reference 8:

Japanese Patent Laid-Open Application Hei 06 (1994) – 327172

Laid open: November 25, 1994

Japanese Patent Application Hei 04 (1992) - 259205

Filed: September 29, 1992

Inventor(s): Jiro KOCHIYAMA; Nobuyuki KAYA; Teruo FUJIWARA;

Hideki YASUI; Hiroyuki YASHIRO

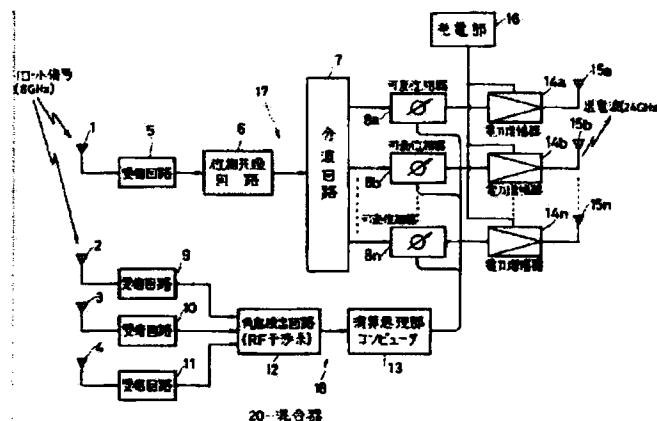
Applicant: ROCKET SYSTEM KK; Nobuyuki KAYA; NISSAN MOTOR CO., LTD.

Title: POWER TRANSMISSION APPARATUS OF SOLAR POWER GENERATION

### Abstract:

**PURPOSE:** To enhance the power reception efficiency of the title power transmission apparatus by a method wherein a phase is controlled for every power-transmission antenna element by an angle detection circuit, an operation and processing circuit and a phase conjugation circuit.

**CONSTITUTION:** Solar energy which has been gathered by a power generation part 16 is transformed into electric energy. On the other hand, in a phase conjugation circuit 6, a difference signal is obtained by a pilot signal transmitted from a target object which uses the phase of microwaves as a power reception object and by a common pilot signal to be used as a power-transmission reference point in the pilot signal, and a pilot signal which has been input is gradually  $n$ -multiplied by the difference signal. Then, the gradually  $n$ -multiplied pilot signal is wave-divided into the number of power-transmission antenna elements by a wave-dividing circuit 7. In addition, the arrival direction of the pilot signal is detected by an angle detection circuit 12, and the power-supply phase difference of power transmission antennas 15 in which the microwaves are focused by an operation and processing part 13 is operated on the basis of an angle detection signal. A phase difference is generated in a wave-divided signal from the wave-dividing circuit 7 by an operated signal in a variable phase shifter 8, and it is amplified to electric energy for microwave power transmission.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-327172

(43)公開日 平成6年(1994)11月25日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 2 J 17/00	A	9061-5G		
	X	9061-5G		
H 0 4 B 1/04	P	2116-5K		
1/18	B	9298-5K		

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平4-259205

(22)出願日 平成4年(1992)9月29日

(71)出願人 592205126

株式会社ロケットシステム  
東京都港区芝大門2-5-5

(71)出願人 592205137

賀谷 信幸  
兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大  
学内

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社  
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(74)代理人 弁理士 志賀 富士弥 (外2名)

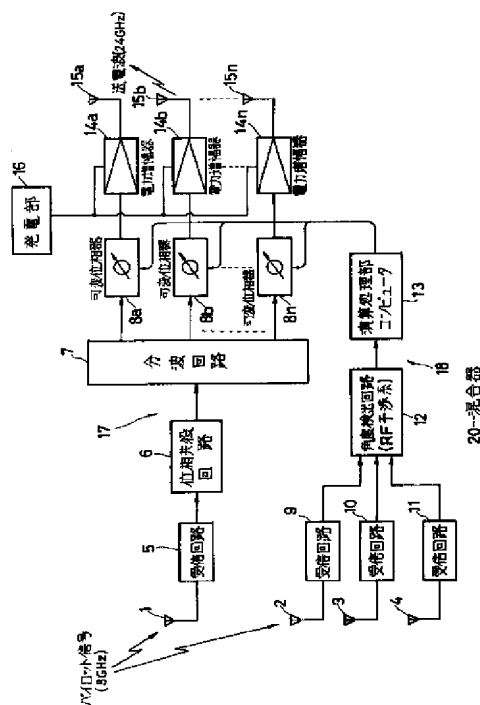
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 太陽発電の送電装置

(57)【要約】

【目的】 太陽発電の送電装置において、受電効率を向上し、かつ、構造を簡単にする。

【構成】 マイクロ波ビームを正確に目標物体に集めるために、二つのビーム制御方式を併用した。一つは、サブアレイ単位でのレトロディレクティブ方式である。このレトロディレクティブ方式において、1つのパイロット信号のみを用い簡単な回路系で全く誤差のないビーム制御方式を提案した。さらに、サブアレイ内では、全アンテナ素子と移相器を組み合わせ、サブアレイの放射方向をも変えることにより、より目標物体にマイクロ波エネルギーを集中させることを可能とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発電部で収集した太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、この電気エネルギーをマイクロ波に変換し、このマイクロ波の位相を受電物体としての目標物体から送られてきたパイロット信号によって制御し、このマイクロ波をパイロット信号の到来方向に送電する太陽発電の送電装置において、  
 入力されたパイロット信号を  $n$  通倍する位相共役回路と、  
 この位相共役回路から出力された信号を送電アンテナ素子数に分波する分波回路と、  
 前記パイロット信号の到来方向を検出する角度検出回路と、  
 この角度検出回路から出力された信号から前記マイクロ波が前記目標物体に集束する送電アンテナの給電位相差を演算する演算処理部と、  
 この演算処理部から出力された信号によって前記分波回路から出力された信号に位相差を生じさせる可変移相回路と、  
 前記電気エネルギーをこの可変移相回路から出力された信号に基づく位相差を有するマイクロ波送電用の電気エネルギーに増幅する電力増幅器と、  
 前記位相共役回路に設けられ前記入力されたパイロット信号およびこのパイロット信号の中で送電基準点となる共通のパイロット信号によって差信号を得る手段と、  
 を備えたことを特徴とする太陽発電の送電装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、収集した太陽エネルギーをマイクロ波で地上や飛行体または宇宙ステーションあるいは宇宙工場などの受電物体としての目標物体に送電する太陽発電の送電装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】太陽発電は、例えば、平成4年7月14日付け読売新聞（朝刊）13版第15面に掲載されているものが提案されている。これは、図6に示すようになっている。図6において、発電装置として地球から静止軌道上に打ち上げられた太陽発電衛星101が、太陽エネルギーを収集し、この太陽エネルギーをマイクロ波に変換し、このマイクロ波を図外の目標物体から送られてきたパイロット信号の到来方向に送ることによって、太陽発電衛星101から電気エネルギーを目標物体に送電するのである。

【0003】ところで、太陽発電の送電装置には、送電波としてのマイクロ波の位相を制御して、マイクロ波をパイロット信号の到来方向と同じ方向に送るために、フェイズドアレイアンテナの一方式であるレトロディレクティブ方式が試みられている。レトロディレクティブ方式を説明する。図7において、送電波を集中したい目標点をAとし、この目標点Aから送電側に向けて周波数 $\omega$

$\omega_i$ なるパイロット信号が放射され、このパイロット信号を送電側の各アンテナ素子で受信し、周波数 $\omega_t$ の送電波が目標点Aに向けて放射されたものとする。このとき、目標点Aから発せられた送電波が時間 $t$ 後に、距離 $X_0$ 離れた送電側の中心（基準点） $P_0$ に到達するものと仮定すると、基準点 $P_0$ におけるパイロット信号の位相は、

$$\phi_0 = \omega_i (t_0 - X_0 / C) \dots\dots\dots (1)$$

となる。ただし、 $C$ は光速である。同様に、目標点Aから距離 $X_1$ 離れた送電側の一点 $P_1$ での位相は、

$$\phi_1 = \omega_i (t_0 - X_1 / C) \dots\dots\dots (2)$$

と表される。このときの二点間の位相差は、

$$\Phi_i = \phi_1 - \phi_0 = -\omega_i r / C \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、 $r = X_1 - X_0$ である。

【0004】点 $P_0$ 、 $P_1$ において、仮に、同相で送電波を放射したとすれば、目標点Aにおける位相差は、送電波の周波数が $\omega_t$ であるから、（3）式より、

$$\Phi_t = -\omega_t r / C \dots\dots\dots (4)$$

となる。したがって、二点 $P_0$ 、 $P_1$ からの送電波の位相が目標点Aにおいて等しくなるためには、

$$\Phi_c = \omega_t r / C \dots\dots\dots (5)$$

を $P_1$ 点において補償してやるとよい。よって、送電側の各点において（5）式の位相補償を行うことにより、送電側から発せられた全ての送電波の位相が目標点Aにおいて等しくなる。これがレトロディレクティブ方式の原理である。

【0005】このレトロディレクティブ方式を太陽発電の送電装置に採用するについては、送電アンテナ素子全てにレトロディレクティブ方式に必要なパイロット受電系と位相共役回路とを持たせると、莫大な数量および重量になることから、送電アンテナ素子をいくつかのサブアレイなるブロックに分け、各サブアレイ毎に1つのパイロット受電系と1つの位相共役回路とを持たせる。そして、各サブアレイ内の送電アンテナ素子には、送電電力が全て同位相で給電されている。また、レトロディレクティブ方式では、目標物体側からパイロット信号が発せられるが、マイクロ波が大電力であることから、パイロット信号の周波数が送電側のマイクロ波の周波数と同一であると、パイロット信号を抽出するのが困難になる。このため、太陽発電の送電装置では、例えば、三菱電気株式会社から「マイクロ波送電用アンテナのビーム制御電力」に示すような非対称二周波方式が提案されている（昭和63年度宇宙基地利用基礎実験研究成果報告書；宇宙科学研究所宇宙利用研究委員会の中に項目「マイクロ波無線エネルギー伝送システムの開発」による）。

【0006】この非対称二周波レトロディレクティブ方式の位相共役回路110は、図8に示すようになっている。図8において、分波器111が、太陽発電衛星側のパイロットアンテナで受信された $\theta_1(t)$ なるパイロ

ット信号と位相 $\theta_2(t)$ なるパイロット信号とに分波する。-1通倍器112が、分波器111で分波された $\theta_1(t)$ の出力を-1通倍する。2通倍器113が、分波器111で分波された $\theta_2(t)$ の出力を2通倍する。そして、第1混合器114が、-1通倍器112からの $-\theta_1(t)$ の-1通倍出力と2通倍器113からの $2\theta_2(t)$ の2通倍出力との2つの信号を混合して、第1バンドパスフィルタ115に出力する。バンドパスフィルタ115は、第1混合器114で混合された和信号と差信号とのうちのいずれか1つの信号を第2混合器116に出力する。第2混合器116は、発信器117からの周波数がパイロット信号の周波数とは異なるローカル信号とバンドパスフィルタ115からの出力信号とを混合して第2バンドパスフィルタ118を通し、 $\theta_t(t)$ なる信号を太陽発電衛星の送電アンテナ側に出力する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】前述の太陽発電におけるマイクロ波システムでは、サブアレイ単位でのレトロディレクティブ方式によるビーム制御方式が採用されている。この方式では、サブアレイの指向性の範囲内ではかマイクロ波ビームを走査することができない。広い角度範囲でマイクロ波ビームを走査するためには、サブアレイをより小さく区切り、各サブアレイにレトロディレクティブのための共役回路を付加しなければならない。

【0008】現在、誤差のない共役回路は前述の非対称二周波方式とされるが、二周波を用いるため回路系は複雑となり、各アンテナ素子に二周波方式の共役回路を組み合わせることは非現実的である。ここでは、広い角度範囲を走査する送電システムを簡単なシステムで誤差なく実現することを課題としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、発電部で収集した太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、この電気エネルギーをマイクロ波に変換し、このマイクロ波の位相を受電物体としての目標物体から送られてきたパイロット信号によって制御し、このマイクロ波をパイロット信号の到来方向に送電する太陽発電の送電装置において、入力されたパイロット信号を $n$ 通倍する位相共役回路と、この位相共役回路から出力された信号を送電アンテナ素子数に分波する分波回路と、前記パイロット信号の到来方向を検出する角度検出回路と、この角度検出回路から出力された信号から前記マイクロ波が前記目標物体に集束する送電アンテナの給電位相差を演算する演算処理部と、この演算処理部から出力された信号によって前記分波回路から出力された信号に位相差を生じさせる可変移相回路と、前記電気エネルギーをこの可変移相回路から出力された信号に基づく位相差を有するマイクロ波送電用の電気エネルギーに増幅する電力増幅器と、前記位相共役回路に設けられ前記入力されたパイロット信号およびこ

のパイロット信号の中で送電基準点となる共通のパイロット信号によって差信号を得る手段とを備えている。

【0010】

【作用】収集した太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、この電気エネルギーをマイクロ波に変換する。一方、このマイクロ波の位相を受電物体としての目標物体から送られてきたパイロット信号およびこのパイロット信号の中で送電基準点となる共通のパイロット信号によって差信号を得て、この差信号によって、入力されたパイロット信号を $n$ 通倍し、 $n$ 通倍された信号を送電アンテナ素子数に分波する。また、前記パイロット信号の到来方向を検出し、この角度検出信号から前記マイクロ波が前記目標物体に集束する送電アンテナの給電位相差を演算し、この演算信号によって、前記分波信号に位相差を生じさせる。そして、前記電気エネルギーを可変移相信号に基づく位相差を有するマイクロ波送電用の電気エネルギーに増幅する。この増幅された電気エネルギーによって、マイクロ波をパイロット信号の到来方向に送電する。

【0011】

【実施例】図1は、太陽発電の送電装置の一実施例を示している。図1において、図外の目標物体から発せられたパイロット信号を受信するためのパイロットアンテナ1、2、3、4が、1つの送電アンテナをブロックに分けたサブアレイに対して4つ設けられている。この4つのパイロットアンテナ1~4のうちの1つのパイロットアンテナ1は、受信した例えば8GHzのパイロット信号を、受信回路5を経て位相共役回路6に出力する。位相共役回路6は、入力されたパイロット信号を $n$ 通倍して分波回路7に出力する。分波回路7は、入力されたパイロット信号を分波して複数の可変移相器8a、8b、……、8nに出力する。一方、残りの3つのパイロットアンテナ3、4、5は、3点配置され、受信したパイロット信号それぞれを、受信回路9、10、11を経てRF干渉計に構成された角度検出回路12に出力する。角度検出回路12は、3つのパイロットアンテナ2~4で受信したパイロット信号の位相差を計ることにより目標物体の方向を求め、この目標物体の方向なる角度信号をマイクロコンピュータに構成された演算処理部13に出力する。演算処理部13は、角度検出回路12から入力された角度信号により、太陽発電衛星の送電アンテナ15を構成する送信アンテナ素子15a、15b、……、15nから出力されるマイクロ波が目標物体の受電アンテナに集束するような送電アンテナのサブアレイ上の給電位相差を演算してデジタル可変移相器なる可変移相器8a、8b、……、8nに出力する。可変移相器8a、8b、……、8nは、演算処理部13から入力された給電位相差信号により分波回路7から入力された信号に位相差を生じさせて複数の電力増幅器14a、14b、……、14nに出力する。電力増幅器14a、14b、……、14nは、太陽発電衛星の発電部16から出

力された電力を、可変移相器8a, 8b, ……、8nから出力されたマイクロ波を増幅して、太陽発電衛星の送電アンテナ15a, 15b, ……、15nに出力する。送電アンテナ15a, 15b, ……、15nは、電力増幅器14a, 14b, ……、14nからの給電位相差を持った例えば24GHzのマイクロ波を目標物体の受電アンテナに向けて放射する。また、複数の可変移相器8a, 8b, ……、8nと複数の電力増幅器14a, 14b, ……、14nとは、送信アンテナ素子15a, 15b, ……、15nそれぞれに1個づつ配置されている。また、受信回路5と位相共役回路5と分波回路7と可変移相回路8a, 8b, ……、8nとが位相制御部17を構成している。また、3つのパイロットアンテナ2, 3, 4と3つの受信回路9, 10, 11と1つの角度検出回路12と1つの演算処理部13とが、信号処理部18を構成している。

【0012】図2は、上記位相共役回路6を示している。図2において、混合器20は、図1に示す1つのパイロットアンテナ1で受信されたパイロット信号と送電側の基準点に位置する図外のパイロットアンテナで受信されたパイロット信号から2通倍器21を通して生成された共通の基準位置信号なるパイロット信号との差信号を、バンドパスフィルタ22に出力する。バンドパスフィルタ22は、混合器20から出力される和信号と差信号から差信号すなわち共役位相成分だけを3通倍器23に出力する。3通倍器23は、入力された共役位相成分を3通倍してパイロット信号に位相が共役な3倍周波数の信号を図1に示す分波回路7に出力する。つまり、位相共役回路6は、レトロディレクティブ方式での位相補償を行う。具体的には、前述のレトロディレクティブ方式において、送電側基準点P<sub>0</sub>での入力信号の位相 $\omega_i t$ とすると、点P<sub>1</sub>では、前述の(3)式より、

$$\cos \theta = (a - b) / D = \psi \lambda / 2\pi D \cdots \cdots (10)$$

となる。したがって、基線長Dが既知であれば、波長は既知であるので、電波到来方向の角度 $\theta$ を測定することができる。

【0014】図5は、上記演算処理部13での位相補正を示している。図5において、演算処理部13は、角度検出回路12で求められたパイロット信号の到来方向 $\theta$ により、位相差 $d \sin \theta$ を各アンテナ素子に補償し、送信すべきマイクロ波の位相が目標物体の受電アンテナにおいて揃うようにしている。

【0015】したがって、この実施例によれば、3つのパイロットアンテナ2, 3, 4と3つの受信回路9, 10, 11と1つの角度検出回路12と1つの演算処理部13とからなる信号処理部18および位相共役回路6によって、送電アンテナ素子15a, 15b, ……、15n毎に位相を制御しているので、送電アンテナと目標物体とが、大きく方向がずれた場合でも、送電アンテナ素子15a, 15b, ……、15nから発せられる全電波

$$\begin{aligned} \psi &= \omega_i t - \omega_i r / C \\ &= \omega_i (t - r / C) \cdots \cdots (6) \end{aligned}$$

となる。点P<sub>1</sub>において位相を補償した後の出力信号の位相は、前述の(5)式より、

$$\begin{aligned} \psi &= \omega_t t + \omega_t r / C \\ &= \omega_t (t + r / C) \cdots \cdots (7) \end{aligned}$$

とならなければならない。したがって、位相共役回路6は、(6)式の入力信号を(7)式の出力信号に変えるのである。

【0013】図3は、上記角度検出回路12を示している。図3において、角度検出回路12は、図1に示す3つのパイロットアンテナ2~4に対応する3つのバンドパスフィルタ30, 31, 32と、3つの前置増幅器33, 34, 35と、3つの位相検出器36, 37, 38とを備えており、3つのパイロットアンテナ2~4に入力されるパイロット信号の位相差を検出して図1に示す演算処理部13に出力する。この角度検出回路13の原理は、基線上の二点におかれたアンテナに入る電波の位相差を計ることによって電波の到来方向の角度を出そうとするものである。つまり、図4において、位相差を $\psi$ 、ABを基線、Sを目標物とし、R, a, b, Dを図示の距離、 $\lambda$ を波長とすると、

$$\psi = 2\pi (a - b) / \lambda \cdots \cdots (8)$$

$$b^2 = (D/2)^2 + R^2 - DR \cos \theta$$

$$a^2 = (D/2)^2 + R^2 - DR \cos \theta$$

$$a^2 - b^2 = 2DR \cos \theta$$

$$a - b = D \cos \theta \{ 2R / (a + b) \} \cdots \cdots (9)$$

となる。ここで、もし、 $R > D$ で、bがRにほとんど等しい( $2R = a + b$ )とすると、

$$a - b = D \cos \theta$$

となる。故に、

の位相が、目標物体の受電アンテナに同位相で集束されるので、受電効率が向上する。

【0016】また、この実施例によれば、位相共役回路6が、1つのパイロットアンテナ1から入力されたパイロット信号と送電側の基準点に位置する図外のパイロットアンテナから入力された共通のパイロット信号とによって、差信号を得る構成になっているので、ローカル信号が必要なく、したがって、送電側に発振器を必要とせず、構造が簡単となる。

【0017】また、この実施例によれば、パイロット信号の周波数としてマイクロ波の周波数の $1/n$ のものを使用し、無変調のパイロット信号を受信するだけであるので、受信回路5, 9, 10, 11はバンドパスフィルタと増幅器との直列回路のみで構成することができ、構造が簡単となる。

【0018】さらに、この実施例によれば、位相共役回路6と受信回路5, 9, 10, 11との構造が簡単にな

ることから、重量も軽減する。

【0019】

【発明の効果】本発明によれば、角度検出回路と演算処理部と位相共役回路とによって、送電アンテナ素子毎に位相を制御しているのに、太陽発電衛星と目標物体とが、例えば数Km程度というように、ある程度以上近いときでも、送電アンテナ素子から発せられる全電波の位相を、目標物体の受電アンテナに同位相で集束することができ、もって、受電効率を向上することができる。また、位相共役回路が、1つのパイロットアンテナから入力されたパイロット信号と送電側の基準点に位置する図外のパイロットアンテナから入力された共通のパイロット信号とによって、差信号を得る手段を備えているので、ローカル信号が必要なく、したがって、送電側に発振器を必要とせず、構造を簡素化することができ、小型化および軽量化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】太陽発電の送電装置の一実施例を示す構成図。

【図2】一実施例の共役回路図。

【図3】一実施例の角度検出回路図。

【図4】一実施例の天文学上の干渉計の原理を説明する図。

【図5】一実施例の演算処理部での位相補正を説明する図。

【図6】太陽発電衛星を示す斜視図。

【図7】従来の太陽発電の送電装置のレトロディレクティブ方式を示す図。

【図8】従来の非対称二周波方式の位相共役回路図。

【符号の説明】

6…位相共役回路

7…分波回路

8a, 8b, …, 8n…可変移相回路

12…角度検出回路

13…演算処理部

14a, 14b, …, 14n…電力増幅器

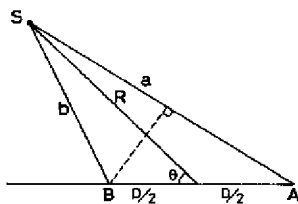
16…発電部

17…位相制御部

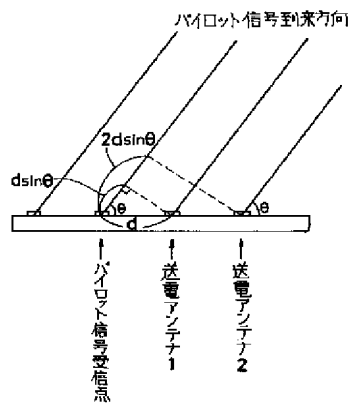
18…信号処理部

21…結合器

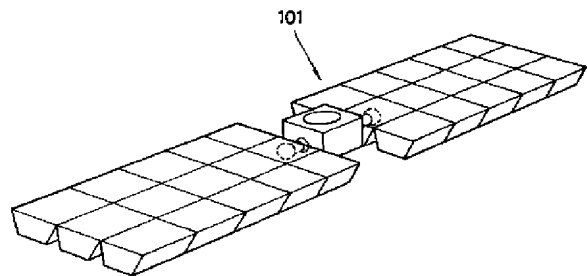
【図4】



【図5】

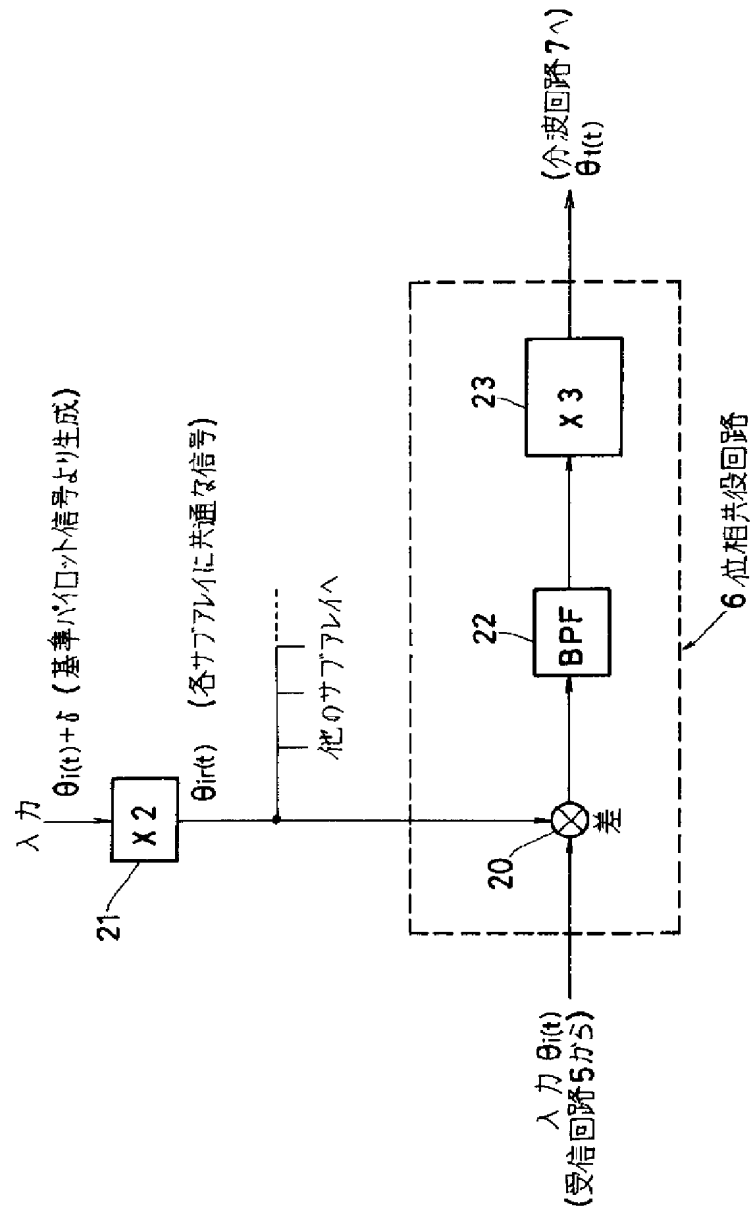


【図6】





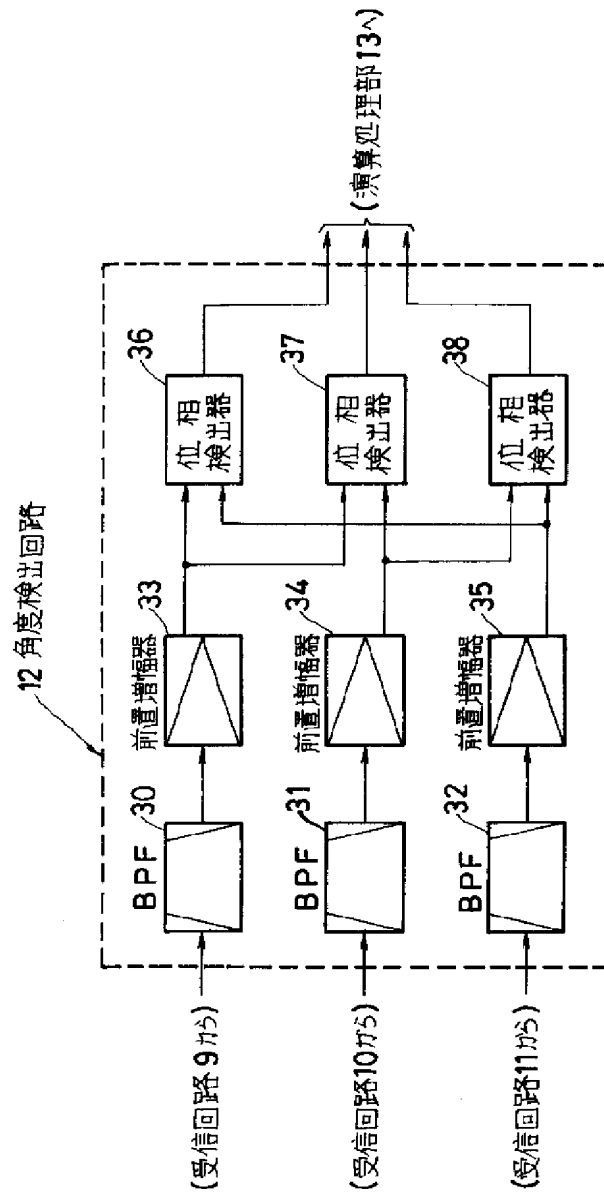
【図2】



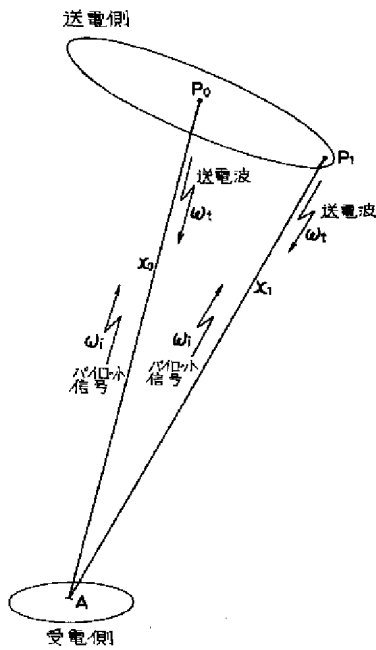
$$\begin{aligned}\theta_i(t) &= \omega_P(t - t/c) + 2\pi K_P1 \\ \theta_{ir}(t) &= 2\omega_P t + \varphi + 2\pi K_P2 \\ \theta_i(t) &= 3\omega_P(t + t/c) + 3\varphi + 2\pi K_t \\ &\quad K_P1, K_P2, K_t \text{ 整数}\end{aligned}$$



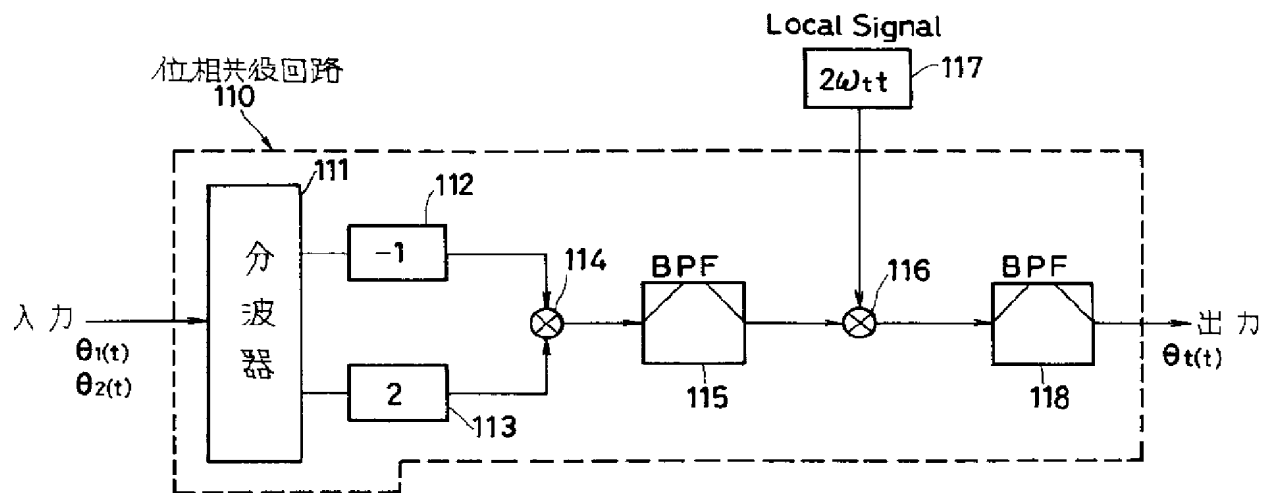
【図3】



【図7】



【図8】



$$\theta_1(t) = \omega_{P1}(t - r/c) + 2\pi K_{P1}$$

$$\theta_2(t) = \omega_{P2}(t - r/c) + 2\pi K_{P2}$$

$$\theta_t(t) = \omega_t(t + r/c) + 2\pi K_t$$

$$\omega_{P1} = \omega_t + 2\Delta\omega$$

$$\omega_{P2} = \omega_t + \Delta\omega$$

$K_{P1}, K_{P2}, K_t$  整数

## フロントページの続き

(72)発明者 河内山 治朗  
東京都港区芝大門 2 - 5 - 5 株式会社ロ  
ケットシステム内

(72)発明者 賀谷 信幸  
兵庫県神戸市灘区六甲台町 1 - 1 神戸大  
学内

(72)発明者 藤原 暉雄  
神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 日産  
自動車株式会社内

(72)発明者 安井 英己  
神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 日産  
自動車株式会社内

(72)発明者 矢代 裕之  
神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 日産  
自動車株式会社内